Korean Chem. Eng. Res., 55(1), 135-140 (2017)
https://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.1.135
PISSN 0304-128X, EISSN 2233-9558
단 신

토너 출력문자와 필기구류 기재문자 간 광학적 변화와 선후관계에 관한 연구

이가영 · 윤도영* · 이 중†

국립과학수사연구원 디지털분석과
26460 강원도 원주시 입춘로 10
*광운대학교 화학공학과
01897 서울특별시 노원구 월계동 447-1
(2016년 9월 25일 접수, 2016년 10월 4일 수정본 접수, 2016년 10월 7일 채택)

A Study on Optical Changes and Sequence Discrimination of Toner-printed Text and Writing Text

Ka Young Lee, Do-Young Yoon* and Joong Lee†

Digital Technology & Biometry Division, National Forensic Service, 10, Ipchun-ro, Wonju, Gangwon, 26460, Korea,
**Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, 447-1, Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul, 01897, Korea*
(Received 25 September 2016; Received in revised form 4 October 2016; accepted 7 October 2016)

요 약

본 논문은 법과학 문서분야에서 가장 활발하게 논의되고 있는 주제 중 하나인 상대적 작성시기 판단에 관한 연구이다. 최근 문서 제작에 가장 많이 이용되는 토너 타입의 출력문자와 필기구류 기재문자의 교차 지점을 분광비교분석기 및 무한초점현미경을 이용하여 관찰하였다. 그 결과, 필기구류 종류에 따라 교차지점 형태를 분류할 수 있었고, 문자 간 상대적 작성시기 판단에 관한 결과를 도출하였다.

Abstract – This paper is on a study for discrimination on relative sequence as a most actively discussed topic in forensic document fields. This paper describes the application of the visual spectral comparator and infinite focus microscope as observation methods for overlapping region of printing and writing lines. As a result, we could categorize overlapping region images and identify the sequence of printing and writing lines by various inks.

Key words: Toner-printed text, Writing text, Sequence discrimination, Video spectral comparator, Infinite focus microscope

1. 서 론

사무자동화기기의 발달에 따라 정교하게 위조나 변조된 문서를 손쉽게 제작할 수 있으며, 이는 범죄에 직간접적으로 이용되고 있다. 이와 같은 위변조 범죄의 수사 및 관련 증거물의 분석을 위하여 문서에 대한 전반적인 기법들이 수립되어야 한다. 특히 문서가 작성된 시기의 식별은 위변조를 판단할 수 있는 가장 중요한 부분이지만, 많은 연구에도 불구하고 절대적인 작성시기[1a-1g]에 대한 판단이 어려운 실정이다. 그에 반하여 상대적인 작성시기[2a-2c]는 문서에 포함된 정보들 간의 선후만을 판단하는 것이므로, 분석이 용이하여 보다 많은 연구가 진행되었고 그 연구보고로부터 적절한 감정기법들이 정립되고 있다.

법과학적 관점에서 작성시기의 감정기법 정립이 어려운 이유 중 하나는 그 시료를 훼손하지 않거나 훼손을 최소화하여야 한다는 것이다. 문서 관련 분석 시료는 대부분 이해 관계 당사자 간 재판을 위한 법적 근거 자료로 사용되거나 추후 사용 가능성이 높은 것들로 작성시기 외에도 다른 쟁점을 위하여 사용될 경우가 대부분이므로 분석을 위하여 훼손된 후, 시료가 복구 불가한 방법에 대한 제약이 가해진다. 따라서 분석 방법은 비파괴 방식으로 수행되는 것이 일반적이다.

우리 연구진을 포함한 문서 분야의 다양한 연구진에 의하여 상대적인 작성시기 연구인 제작 방식이 다른 문자의 교차 부분에 선후 연구가 이루어졌다[2,3]. 특히 우리 연구진은 출력문자와 인영 교차 부분의 선후 관계 판단에 관한 연구를 수행하여 그 결과를 학계에 보고 하였다[3].

통상적인 문서는 문서에 있는 내용을 먼저 확인한 후, 내용에 대한 책임이 발생하는 본인 서명을 기재하거나, 도장을 날인하는 경우가 일반적이지만, 순서가 바뀐 서명 기재 또는 도장 날인 된 후, 내용이 출력된 문서는 당사자 간 내용을 모르고 제작되었거나 내용에 대한 합의가 충분히 이루어지지 않았을 가능성이 높아 문제가 있는 문서로 추정된다[4]. 따라서 내용 부분과 당사자 간 확인을 의

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ljfirst@korea.kr
‡이 논문은 광운대학교 한 춘 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

미하는 서명, 인영 부분의 상대적인 작성 시기를 파악하는 것이 중요하다[5]. 내용 부분과 당사자 간 확인 부분 간 교차 지점이 있고, 내용 문자가 출력방식이며 날인된 인영이 존재하는 문서일 경우, 우리 연구진이 보고한 방법을 통하여 작성시기를 판단하여 위변조 가능성에 대한 판단근거를 제시할 수 있다[3,5].

우리 연구진은 위와 같은 연구를 진행하며[3], 문서 내용 부분은 출력 문자이고, 당사자 간 확인 부분은 필기구류 서명이 기재된 문서에 대한 주제에도 관심을 갖게 되었다. 이 경우 서명을 직접 기재하는 필기구의 종류가 매우 다양하고, 필기구류 별 특징이 상이하여, 그 교차지점의 양상을 관찰하는 것이 쉽지 않았다. 따라서 본 논문에서는 문서 내용이 토너 출력 문자이고 서명이 필기구류로 기재된 문서를 제작하여 교차지점의 특성을 관찰하여 논의하고, 제작 선후를 판단하여 상대적인 작성시기에 관한 판단에 접근하고자 하였다.

2. 시료의 제작 및 실험방법

본 연구진은 주제와 관련된 연구를 위하여 시중에 사용되는 토너 방식 출력기 8종을 Table 1과 같이선택하였다. 실험 샘플 제작을 위하여 이용한 출력기의 토너는 제작사에서 보급 또는 권장하는 정품을 이용하였다[6].

시중에 유통되는 기재 필기구류는 매우 다양하여 모든 종류의 필기구에 관하여 논의할 수 없었다. 본 논문에서는 국내 시중에 판매되고, 쉽게 구할 수 있는 필기구류를 선정하여 성분에 따라 유성, 수성, 중성으로 구분하였고, 그 중 대중적인 제작 브랜드 별 1종 씩 유성펜 9종, 중성펜 9종, 수성펜 5종을 Table 2와 같이 선택하였다[7,8]. 서명을 기재할 때 일반적으로 흑색 필기구류를 이용하지만 청색을 이용하여 기재하는 경우도 있으므로, Table 2의 펜 흑색과 청색을 각각 이용하여 실험 샘플을 제작하였다.

시료의 제작을 위하여 종이는 국내 한국제지사의 일반 백상지 (75 g/m^2) 및 이와 동급 백상지를 이용하였다[9].

백상지에 Table 1의 출력기를 이용하여 문자를 출력한 후, 그 출력문자 위에 Table 2의 흑색 및 청색 필기구류를 이용하여 문자를 기재하여 선출력 후기재 실험 샘플을 제작하였다. 반대로 백상지에 Table 2의 흑색 및 청색 필기구류를 이용하여 문자를 기재한 후, 그 기재문자 위에 Table 1의 출력기를 이용하여 문자를 출력하여 선기재 후출력 실험 샘플을 제작하였다.

샘플 제작 후, 교차지점을 분광비교분석기로 magnification x1.5~x60, Intergration 297~500, iris 50%~70%의 조건에서 관찰하였고, 무한초점현미경로 magnification x2.5~x10에서 관찰하였다[10,15].

Table 1. Type of toner printer used

	Manufacturer	Product name
1	Fuji Xerox	DCC2263
2	Fuji Xerox	DocucentreII C2200G
3	Sindoh	D415
4	Konica Minolta	bizhub 423
5	OKI	C530dn
6	Samsung	SL-M3325ND
7	Canon	CLBP-1340n
8	HP	CP1215

Table 2. Type of writing instrument used

	Manufacturer	Product name	Size of the Tip (mm)	Ink
1	MITSUBISHI	Jetstream	0.7	Oil-based
2	Monami	153	0.7	Oil-based
3	Munhwa	Campus	0.7	Oil-based
4	Bic	Orange Fine	0.7	Oil-based
5	Dong-a	Anyball	0.7	Oil-based
6	ZEBRA	Surari	0.7	Oil-based
7	Pentel	Rolly-ballpen	0.7	Oil-based
8	Amos	Z-Speed	0.7	Oil-based
9	STABILO	Peerformer plus	0.38	Oil-based
10	STAEDTLER	Runa lightclick	0.5	Oil-based
11	Feelluck	Office Bic	1.0	Oil-based
12	Dong-a	Fine Tech	0.3	Gel
13	Dong-a	OMNI-ball	0.4	Gel
14	PILOT	high Tech -C	0.4	Gel
15	ZEBRA	Sarasa3	0.5	Gel
16	Monami	Gelly pen	0.5	Gel
17	MITSUBISHI	Uniball 152	0.5	Gel
18	Pentel	New Energel	0.5	Gel
19	Feelluck	You-me Gel	0.5	Gel
20	SAKURA	Gelly Roll	0.7	Gel
21	Monami	Plus pen	0.3	Water-based
22	Monami	351 sign pen	0.7	Water-based
23	Amos	Plus pen	0.3	Water-based
24	Bic	Z4	0.5	Water-based
25	MITSUBISHI	Uniball-i	0.5	Water-based
26	Pentel	Tradio pen	0.5	Water-based

3. 실험 고찰 및 결과

토너 출력 문자와 흑색 유성펜 기재문자의 교차지점을 분광비교분석기로 분석하였다[10]. 일반적으로 문서를 검사하는 Intergration 100 이하의 조건에서는 비록 성분은 상이하지만 각 부분이 동일한 흑색으로 관찰되었고, Fig. 1a와 같이 작성 선후를 판단할만한 근거가 관찰되지 않았다. 분광비교분석기 Intergration을 200 이상 400 이하의 범위로 관찰할 경우 Fig. 1b~1d와 같이 토너 표면과 필기구류 잉크의 색상 차이가 발생하여, 색차 및 각 부분의 표면 상태가 작성 선후를 판단할만한 상이점이 되었다.

선출력 후기재 실험 시료의 교차지점을 좀 더 면밀히 확대하여 Fig. 2a와 같이 관찰한 경우, 토너 입자 위에 유성 필기구류 잉크가 도포되어 교차 지점 표면의 유광 물질이 관찰된다. 이 유광은 유성 필기구류에서 공통적으로 관찰되는 물질로 유성 염료 성분과 윤활제에 의하여 발생된다[11]. 선기재 후출력 실험 시료의 교차지점을 확대하면 Fig. 2b와 같이 관찰한 경우, 토너 입자 표면 위로 유광 물질이 관찰되지 않으며, 표면으로 고른 토너 입자 분포가 관찰된다.

다양한 유성 필기구류의 시료를 관찰하였을 때, 교차지점에서 Fig. 2와 유사한 양상이 모두 관찰되었으며, 유광 및 토너 분포 균일성 및 표면상태로 토너 출력 문자와 유성 필기구 기재문자의 상대적인 작성 선후에 관하여 판단할 수 있었다.

다만 Table 2의 9번과 같이 펜의 tip이 0.5 mm 이하로 가늘어진 경우, 교차부분이 면적이 현저히 감소하여 이와 같은 표면 관찰이 어려워 선후 판단이 용이하지 않았다. 또한 선기재 후출력 실험 시

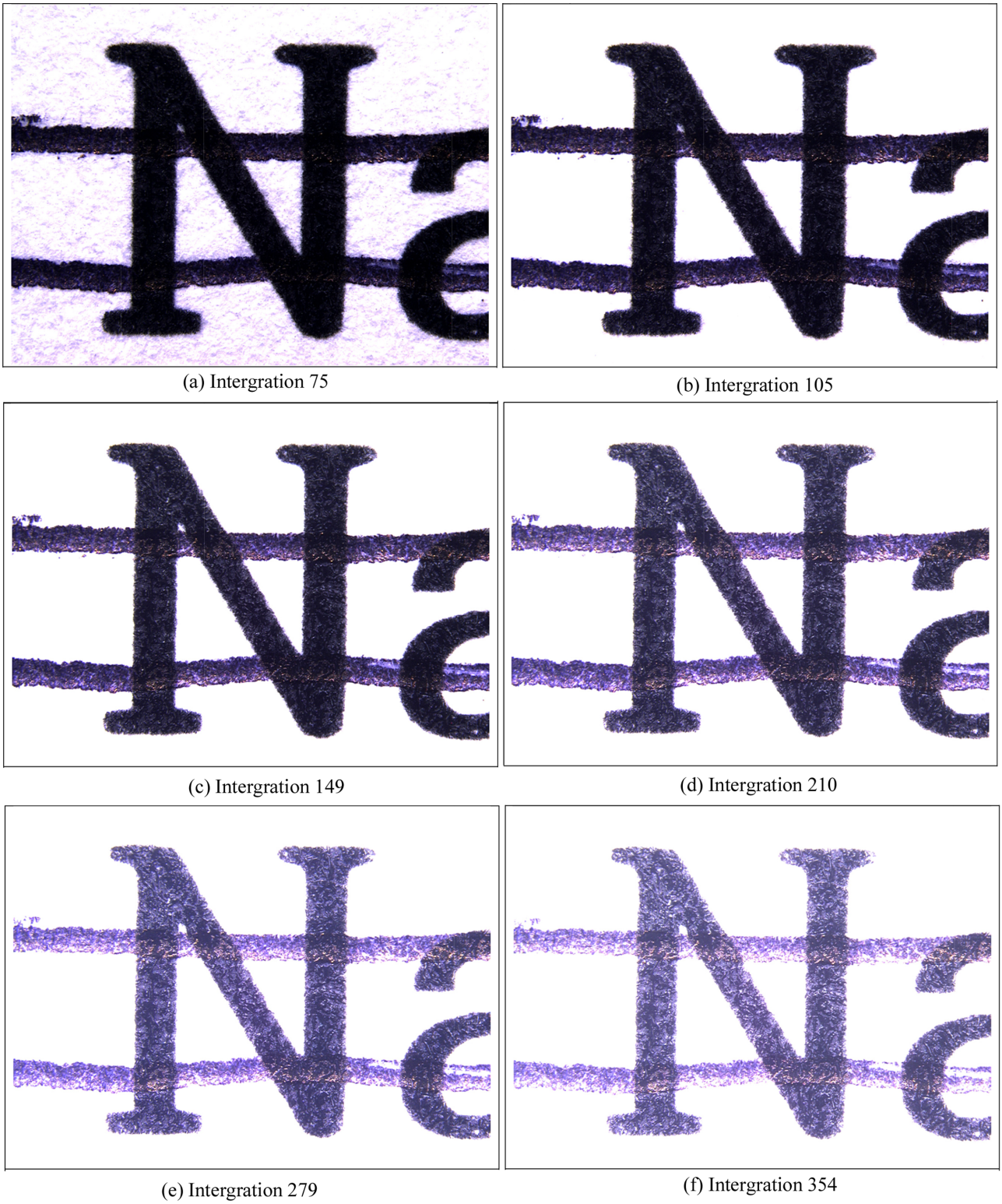


Fig. 1. Overlapping region images of writing after printing by changes of integration.

료 제작 시, 가는 tip에 동일한 힘이 가해지면 필압이 증가하고 종이 표면에 필압의 요철이 강하게 분포하여 토너 입자가 고르게 분포되지 않음이 관찰되었다. 따라서 본 논문에서 제시하는 이와 같은 판단 근거는 0.5 이하의 tip을 갖는 필기구류에는 적합하지 않았다[12].

토너 출력 문자와 흑색 중성펜 기재문자의 교차지점을 분광비교 분석기로 분석하였을 때, 표면의형태 및 색차에서 유성펜 양상과는 차이점이 관찰되었다. 일부 중성 잉크의 gel 성분의 뭉침 또는 색상으로 두 문자 간 차이가 발생하였지만, 일부 필기구류는 Fig. 3과 같이 차이가 전혀 관찰되지 않았다. 이것은 중성펜의 특성에 의한 것으로 중성펜은 유성펜과 수성펜의 단점을 보완하기 위하여 개발

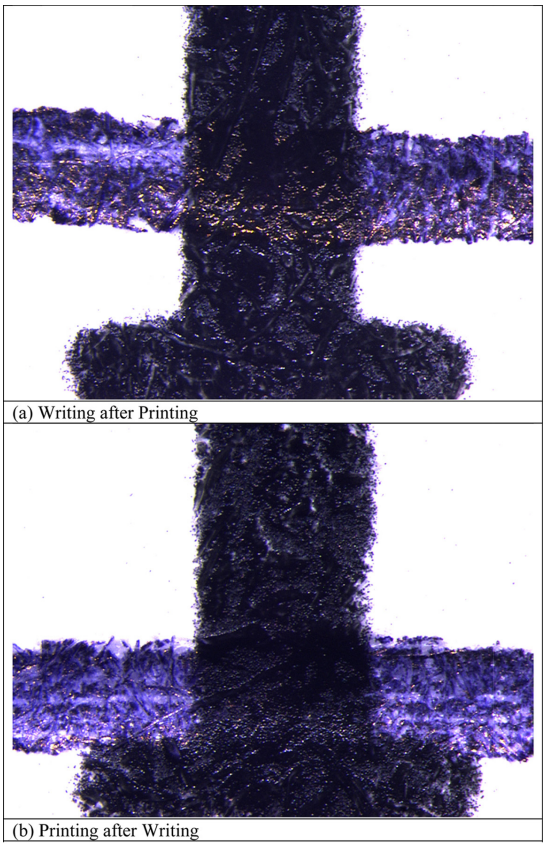


Fig. 2. Overlapping region images between printing and writing by oil-based ink.

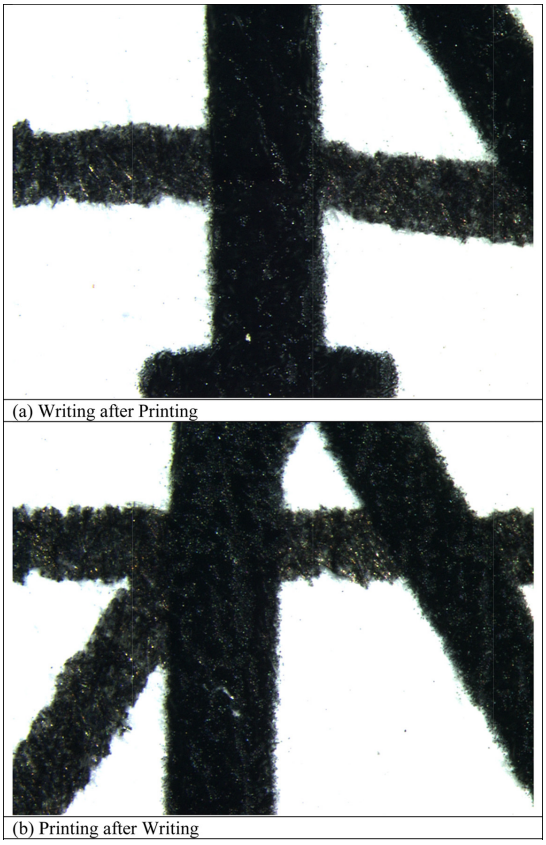


Fig. 3. Overlapping region images between printing and writing by gel-pen ink.

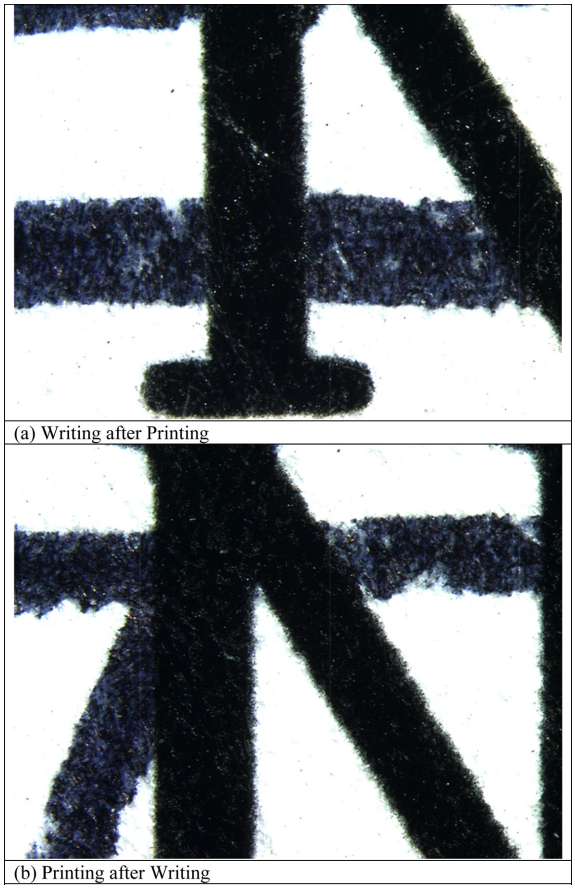


Fig. 4. Overlapping region images between printing and writing by water-based ink.

된 펜으로 모든 중성펜의 잉크가 유사한 성분은 아니다. 즉 중성펜 잉크는 다양하며, 유성잉크, 겔잉크를 혼합하여 사용한 하이브리드 형태의 잉크도 최근에는 개발되었다[13]. 따라서 중성펜 기재문자와 토너 문자의 경우, 일정한 규칙성을 갖는 선후관계 판단근거를 관찰하기 어려웠다. 또한 중성펜의 tip은 needle 타입이 많이 존재하여 일부 시료 토너의 입자가 균일하게 관찰되지 않았다[14].

토너 출력 문자와 흑색 수성펜 기재문자의 교차지점을 분광비교분석기로 분석하였을 때, Fig. 4와 같이 수성 잉크의 특성으로 인하여 표면에서 유광에 따른 변화 양상이 관찰되지 않았다. 수성펜 잉크를 이용한 경우, Intergration을 200 이상 400 이하의 범위는 물론 400이상으로 관찰할 경우에도 흑색에 큰 변화가 발생하지 않았다. 따라서 수성펜 기재 문자와 토너 문자의 경우 분광비교분석기로 관찰하여 선후관계 판단을 할 수 없었다.

청색 필기구 기재문자와 토너 문자 교차지점의 양상을 분광비교분석기로 관찰한 결과, 그 결과는흑색 필기구 기재문자와 토너 문자 교차지점의 양상과 유사하였다. 다만 청색의 색 차이가 이미 존재하므로 비교가 용이하였고, Intergration을 증가시키지 않는 범위에서도 선후 판단이 가능하였다. 일반적으로 문서를 관찰하는 Intergration 보다 상향하는 150 이상 200 이하가 가장 적절한 것으로 관찰되었다.

토너 출력 문자와 유성펜 기재문자의 교차지점을 분광비교분석기 분석 후, 무한초점현미경으로 분석하였다. 무한초점현미경의 광

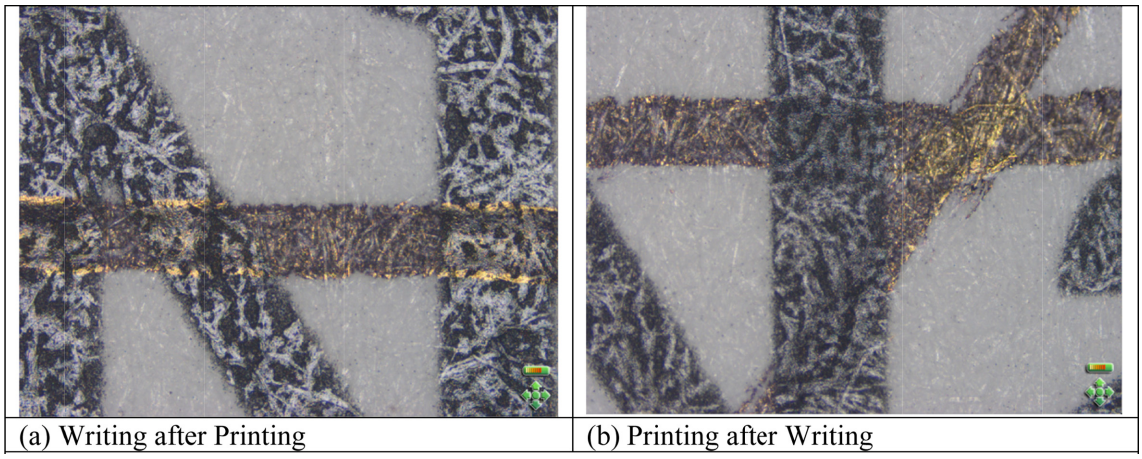


Fig. 5. Overlapping region images between printing and writing by oil-based ink under co-axial light.

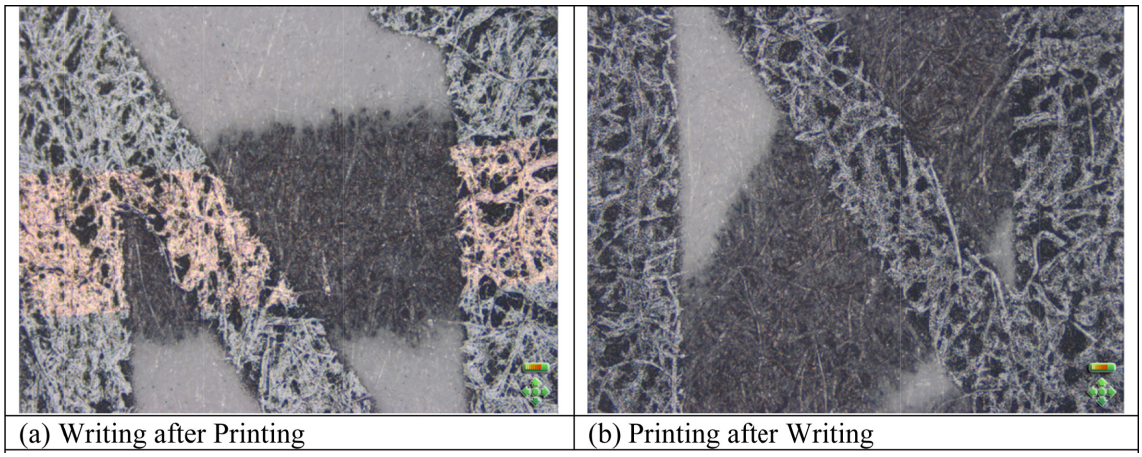


Fig. 6. Overlapping region images between printing and writing by water-based ink under co-axial light.

원은 동축광을 이용함으로 일반 광학현미경보다 물체의 표면을 세밀하고 입체적으로 구분할 수 있어 이와 같은 분석에 효과적일 것으로 기대하였다. 이러한 무한초점현미경은 시료의 교차지점 표면의 2D분석에 이용되었지만, 시료의 미세한 부분 및 3D 정보수집에도 매우 효과적이었다[15].

토너 출력 문자와 흑색 유성펜 기재문자 시료를 무한초점현미경으로 관찰할 경우, Fig. 5a~5b와 같이 분광비교분석기로 관찰할 경우보다 토너입자 표면이 세밀하게 관찰되며, 잉크의 성분에 의한 색 변화도 뚜렷하게 나타났다.

무한초점현미경을 이용하여 시료를 관찰할 경우, 토너 출력 문자와 중성펜 및 수성펜 기재문자의 선후관계 판단에 매우 효과적이었는데, 중성펜 및 수성펜 잉크의 존재는 Fig. 6과 같이 토너 군집의 표면에 변화를 가져왔다. Fig. 6a와 같이 동축광에 의하여 토너 군집 위에 중성펜 잉크류는 토너 표면의 입자를 일부 가려 표면 형태 및 색상의 변화를 가져왔고, 이로써 출력문자가 제작된 그 위로 펜의 잉크가 위치하였음을 알 수 있었다. 반대의 경우는 Fig. 6b와 같이 색상 변화가 없고 교차지점은 토너 군집이 그대로 관찰되었다. 이러한 무변화는 잉크가 토너 군집 위로는 존재하지 않는다는 의미로 지면 또는 토너군집 아래로만 존재한다는 것을 알 수 있다.

특히 수성펜 기재문자의 경우가 가장 효과적이었는데, 이는 수성펜 tip이 대부분 펠트 타입으로 강한 힘이 가해지지 않으므로, 필압 흔적 없이 표면의 변화를 관찰할 수 있기 때문이다.

또한 청색 필기구 기재문자와 토너 문자 교차지점의 양상을 무한초점현미경으로 관찰한 결과, 흑색 필기구 기재문자와 토너 문자 교차지점의 양상과 유사하였으며, 분광비교분석기와 마찬가지로 청색 필기구류의 선후 비교가 흑색 필기구류보다 용이하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 다양한 토너 출력문자와 필기구류 기재문자의 교차지점을 분광비교분석기 및 무한초점현미경으로 비교 분석하여 그 선후에 관한 판단점에 관하여 논의하였다. 그 결과 토너 출력 문자와 유성펜 기재문자의 교차지점에서 분광비교분석기 Intergration의 증가에 따라 발생되는 유성 잉크 성분의 유무와 토너 입자 표면의 균일성 차이로 두 문자 간 제작 선후를 판단할 수 있었다. 그러나 토너 출력 문자와 중성펜 및 수성펜 기재문자의 교차지점은 각 잉크의 특성상 분광비교분석기 Intergration의 증가만으로는 두 문자 간 제작 선후를 판단할 수 없었다.

반면, 무한초점현미경은 동축광을 이용하여 표면의 차이를 세밀하게 관찰할 수 있었고, 표면 변화의 유무로 토너 출력문자와 다양한 필기구류 기재문자의 교차지점 간 제작 선후를 판단할 수 있었다. 특히 무한초점현미경은 토너 출력 문자와 수성펜 기재문자의

교차지점에 효과적이었고, 두 문자 간 제작 선후를 선명하게 판단할 수 있었다.

감 사

본 논문은 2017년 국립과학수사연구원 R&D사업 연구과제(2017-디지털-02)의 재원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사를 드립니다.

References

1. (a) V. N. Aginsky, Some new ideas for dating ballpoint inks-a feasibility study, *J. Forensic Sci., JFSCA*, **38**(5), 1134-1150(1993), (b) V. N. Aginsky, Dating and characterizing writing, stamp pad and jet printer inks by gas chromatography/mass spectrometry, *Int. J. Forensic Document Examiners,* **2**(2), 103-116(1996), (c) W. D. Mazzela, A Study to investigate the evidential value of blue gel pen ink, *J. Forensic Sci., JFSCA,* **48**(2), 419-424(2003), (d) D. Jeffrey, M. F .S. Wilson, Differentiation of black gel ink using optical and chemical techniques, *J. Forensic Sci., JFSCA*, **49**(2), 364-370(2004), (e) A. K. Singla, O. P. Jausja, J. Kaur, Determining the sequence of intersecting ball pen lines and correctable carbon ribbon strokes, *Forensic Science International,* **64**, 141-145(1994), (f) K. Bojko, C. Roux, B. J. Reedy, An examination of the sequence of intersecting lines using attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectral imaging, *Journal of Forensic Sciences*, **53**(6), 1458-1467(2008), (g) K. Saini, R. Kaur, N. C. Sood, A study for establishing the sequence of superimposed lines: Inkjet versus writing instruments, *Forensic Science International,* **193**, 14-20(2009).
2. (a) M. Claybourn, M. Ansell, Using Raman Spectroscopy to solve crimes: inks, questioned documents and fraud, *Sci. Justice*, **40**, 261-271(2000), (b) Y. Wang, B. Li, Determination of the sequence of intersecting lines from laser toner and seal ink by Fourier transform infrared microspectroscopy and scanning electron microscope/ energy dispersive X-ray mapping, *Sci. Justice*, **52**, 112-118(2012), (c) N. Ozbek, A. Braz, M. López-López, C. García-Ruiz, A study to visualize and determine the sequencing of intersecting ink lines, *Forensic Science International* **234**, 39-44(2014).
3. (a) K. Y. Lee, J. Lee, S. G. Kong, B. H. Kim, Sequence discrimination of heterogeneous crossing of seal impression and ink-printed text using adhesive tapes, *Forensic Science International,* **234**, 120-125(2014), (b) T. Y. Kang, J. Lee, B. W. Park, Use of atomic force microscopy in the forensic application of chronological order of toners and stamping inks in questioned documents, *Forensic Science International*, **261**, 26-32(2016), (c) B.-W. Park, D.-Y. Yoon, D.-S. Kim, Optical Communication and Sensing Modules for Plastic Optical Fibers, *Korean Chem. Eng. Res.*, **47**, 558-564(2009).
4. (a) J. S. Kelly, B. S. Lindblom, Scientific Examination of Questioned Documents, Second Edition, April 27, 2006 by CRC Press, ISBN 9780849320446, (b) S. P. Day, D. Ellen, C. Davies, Scientific Examination of Documents: Methods and Techniques, Third Edition, September 28, 2005 by CRC Press, ISBN 9780849339257.
5. W. Dirwono, J. S. Park, M.R. Agustin-Camacho, J. Kim, H. M. Park, Y. Lee, and K. B. Lee, Application of micro-attenuated total reflectance FTIR spectroscopy in the forensic study of questioned documents involving red seal inks, *Forensic Science International*, **199**, 6-8(2010).
6. For remanufactured toner, see: http://www.laserconnection.com
7. (a) Ames Laboratory, ERDA, Iowa State University; Development of an Ink Tagging Program. Ames, IA, USA, March 1973, (b) R. Brunelle, W.R. Reed, Forensic Examination of Ink and Paper, C.C. Thomas, Publisher Springfield, 1984, pp. 9-42, (c) M. Ezcurra, M.G. Juan, N. Go, I. Maguregui, R. Alonso, Analytical methods for dating modern writing instrument inks on paper, *Forensic Science International*, **197**, 1-20(2010).
8. For brands and companies about writing instruments, see: (a) https://en.wikipedia.org/wiki/List_ of_pen_types,_brands_and_-companies, (b) http://www.levenger.com/PENS---REFILLS-8.aspx.
9. For paper used in the experiment: www.miilkpaper.co.kr.
10. For Video Spectral Comparator 6000 used in the experiment: a) www.fosterfreeman.com, b) brand name: Video Spectral Comparator 6000, manufacturer: Fosterfreeman, Country of manufacture: UK, England.
11. W. Souder, Composition, Properties and Behavior of Ball Pens and Inks, *J. Crim. L. Criminology & Police Sci*, **45**, 743(1955).
12. In most reference literature, they do not use oil-based pen with 0.18 ~ 0.3 mm tip thickness for the purpose of predetermination.
13. For gel pen, see: a) https://en.wikipedia.org/wiki/Gel_pen, a) http://www.gellyroll.com/ company/history. htlm., b) J. D. Wilson, G. M. LaPorte, A. Cantu, Differentiation of black gel inks using optical and chemical techniques, J. Forensic Sci. 49 (2004) 1–7, c) P. C. White, SERRS Spectroscopy – a new technique for forensic science, Sci. Justice 40 (2000) 113–119.
14. a) A tip of the needle type refers to a needle with a thin; sharp tip, b) Separation of the toner particles was observed by a sharp needle type tip, and strong pressure mark was observed.
15. For Infinite Focus Microscope used in the experiment: http:// www.alicona.com.